

氏 名	何 菊 雯(He Juwen)
生 年 月 日	
本 籍	中国
学 位 の 種 類	博士(工学)
学 位 記 番 号	博甲第466号
学位授与の日付	平成14年3月22日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	複合材料の力学特性およびX線応力測定に関する研究
論文審査委員(主査)	廣瀬 幸雄(理学部・教授)
論文審査委員(副査)	小村 照寿(工学部・教授) 黒堀 利夫(教育学部・教授) 安達 正明(工学部・教授) 佐々木敏彦(教育学部・助教授)

学 位 論 文 要 旨

ABSTRACT

In this study, elastic-plastic behaviors of the composite are discussed theoretically, and a method to measure the elastic parameters of composite materials is proposed. The measurement method was inspected using X-ray stress measurement (Image Plate, IP).

In chapter 2, the average elastic-plastic behavior of the composite material was discussed, using equal valent inhomogeneity's method and matrix's method. This composite materials is composed of matrix and spherical inhomogeneities of isotropic perfect ideal elastic plastic materials.

In chapter 3, the effect of ellipsoidal inhomogeneity's shape and distribution on material's overall elastic moduli has been quantitatively studied by equal valent inhomogeneity's method and matrix's method on the basis of Mori-Tanaka's theorem and Reuss's approximation.

In chapter 4, X-ray stress measurement method ($\cos \alpha$ method) using the IP was applied to sintered Al_2O_3 . The residual stress of this material under four point bending was measured by the $\cos \alpha$ method. We examine experimental factors which affect the measurement accuracy.

In chapter 5, the stress distribution of coarse-grained material was investigated using the X-ray diffraction technique with IP. The oscillation method was used to obtain the sufficient of the crystals. An experiment was performed with ferrite and austenite duplex stainless steel, has a maximum grain size with $200 \mu\text{m}$.

In chapter 6, the X-ray stress measurement for $\langle 110 \rangle$ oriented films was formulated by introducing the weighted average method for the crystallite orientation distribution. The formulation derived showed that the relation between the stress of the specimen and the measured strain by X-ray diffraction depended on the measured diffraction planes.

本研究では、母材と介在物から成る材料の弾塑性挙動を母相、介在物を中心に理論的に明らかにすることを試み、さらにその理論をもとに、介在物を含む材料の一番基本的な弾性パラメータを測定する方法を提案し、その測定方法について X 線的に検証した。その際、今問題とされている、新しい X 線応力測定法 (IP) の中で、解決すべきことの一つとして、結晶粒が大きい場合の測定方法に着目した。そしてその新しい測定方法を用いて、母相、介在物が均質等方の場合であ

る弾性・塑性の代表的な材料として、二相ステンレス（フェライト相を母相，オーステナイト相を介在物）を選んだ。さらに介在物が一方向にそろった場合の材料として、TiC 薄膜を選んで、そのような材料の弾性定数について注目した。本研究で得られた知見を以下にまとめる。

第 1 章では、本研究における背景および本論文の構成について記述した。

第 2 章では、等価介在物の手法とマトリックスの方法を利用して、球形介在物を含む材料の弾塑性挙動について検討した。一般に介在物を含む材料に対しては、材料全体の降伏応力を測定することができるが、介在物と母相のどちらが最初に降伏するかを判断することは容易ではなく、また、材料全体の降伏応力と介在物の降伏応力または母相の降伏応力との関係についてはあまり検討がなされていないのが現状である。本章では、球形介在物を含む材料について、母相と介在物両方とも弾塑性挙動を示す場合、母相が最初に降伏する場合、介在物が最初に降伏する場合、それぞれの場合における弾塑性挙動を定式化することができた。また母相、介在物のどちらが最初に降伏するかを判断できる基準も定式化することができた。

第 3 章では、楕円体介在物を有する材料の弾性パラメータを求めることを目的として、等価介在物の手法とマトリックスの方法を利用し、Mori-Tanaka の理論と Reuss モデルに基づいて、等方等質マトリックスに異方性楕円体介在物が規則的に配列している場合およびランダム分布している場合について解析理論の提示を行い、解析式を導いた。また、材料が具体的な円板状楕円体クラックを有する場合の弾性パラメータに関する数値計算例を示し、マトリックスのポアソン比が材料全体の弾性パラメータに与える影響を定量的に示すことができた。さらに楕円体介在物の体積率および介在物の形状が材料の弾性パラメータに及ぼす影響を定量的に推定することが可能となり、材料全体の材料定数を求めた結果、整合性のあることが判明した。

第 4 章では、イメージングプレート（IP）による回折環の全体を使用して応力測定を行う α 角基準 X 線応力測定法をセラミックス材へ適用した。セラミックス材は脆性の問題があり、大きな負荷を与えることが不可能であり、ひずみ感度が悪くなることから IP での応力測定条件を検討する必要があった。なお、解析過程をこれまで行っていた鉄鋼材料である S55C と比較することによって、測定条件の諸因子が及ぼす測定精度の影響の検討を行った。また、IP 法が持つ特徴であるソフトウェア揺動法の適用範囲を調べるとともに、理論的検討として、相応力の変化の割合に及ぼす気孔の影響を Eshelby/Mori-Tanaka モデルを用いて考察を行った。その結果、本手法はセラミックス材に対しても適用可能であることがわかった。また測定条件の中で測定精度に大きく影響を及ぼすのはソフトウェア揺動法であることもわかった。

第 5 章では、IP による回折環の全体を使用して応力測定を行う α 角基準 X 線応力測定法を二相複合材料へ適用する検討を行い、回折環全体の回折データに関する情報から、相応力、マクロ・ミクロ応力を得る方法を示した。また、Eshelby/Mori-Tanaka モデルを利用することにより塑性ひずみに関する量を定量的に得るための方法を示した。本方法の一適用例として、 $(\alpha + \gamma)$ 二相ステンレス鋼より測定された X 線データを解析した。測定された相応力と負荷応力との関係が、マイクロメカニクスの理論値とよく一致し、その適用が有効であることが確認できた。

第 6 章では、X 線応力測定法を TiC 薄膜に適用した。TiC 薄膜は $\langle 110 \rangle$ 方向に配向性を有しているため $\sin^2\psi$ 法の適用が困難であるため、最初に $\langle 110 \rangle$ 配向材の X 線応力測定の定式化を試みた。その結果、 $\langle 110 \rangle$ 配向膜に対するひずみと $\sin^2\psi$ の関係は回折面依存性のため、非線形となることを明らかにした。また最低 2 種類の測定面が測定可能であれば、無ひずみ状態の回折角を用いずに応力値が得られることを明らかにし、さらに無ひずみ状態の格子定数も算出できることを示した。さらに複数の測定データが存在する場合も非線形パラメータによる最小二乗法を適用することにより、応力値および格子定数の算出が可能な方法を提案した。そして本手法を TiC 薄膜に適用することで、膜内には圧縮応力が存在していることがわかり、また格子定数の計算値は文献値とほぼ一致した。

第 7 章では、本研究全体として得られた知見をまとめた。

以上の検討により、母材と介在物から成る材料の弾塑性挙動を母相、介在物を中心に理論的に

明らかにすることができた。またその理論をもとに、介在物を含む材料の一番基本的な弾性パラメータを測定する方法を提案し、その測定方法について X 線的に実証することができた。したがって本研究は、工学分野における X 線応力測定法に大きく貢献できたものと思われる。

学位論文審査結果の要旨

平成 14 年 2 月 1 日の口頭発表結果を踏まえ論文審査を開催し、提出された学位論文並びに資料を検討し協議した結果、以下の通り判明した。

本論文は、母相と介在物からなる材料の弾塑性挙動および弾性パラメータを Eshelby の等価介在物理論と Mori-Tanaka の定理を用いて理論的に明らかにしたものである。母相と介在物が共に弾性挙動を示す場合、母相が最初に降伏する場合、介在物が最初に降伏する場合のそれぞれについての弾塑性挙動を明らかにすることができ、母相、介在物どちらが先に降伏するかの判断基準も導いている。また、楕円体介在物が規則配列した場合、ランダムに分布している場合の弾性パラメータの解析式も求めることができた。

さらに本論文では、それらの理論をもとに、介在物を含む複合材料の残留応力を測定する方法を提案し、その測定方法について X 線的に実証している。その際、介在物として気孔を有する材料であるセラミックス材、そして母相、介在物が均質等方の場合である材料として二相ステンレス鋼（フェライト相を母相、オーステナイト相を介在物）、さらに介在物が一方向にそろった場合の材料として TiC 薄膜を選んで、そのような材料の残留応力測定に X 線応力測定法を適用した。

以上、本論文は十分に博士の学位論文に値するものと考え、審査員一致で合格と判定する。